

# 缓冲包装材料经济性与环境影响评价研究进展

吴彤彤, 吴金卓, 王卉, 蔡加丽  
(东北林业大学 工程技术学院, 哈尔滨 150040)

**摘要:** **目的** 通过梳理国内外文献, 准确掌握不同材质缓冲包装材料的经济性与环境影响程度, 为绿色经济缓冲包装材料的设计与应用提供参考和借鉴。**方法** 在对常见的缓冲包装进行分类的基础上, 分别从缓冲包装材料的经济性和环境影响等 2 个方面对纸制缓冲包装材料和塑料缓冲包装材料进行评价分析。**结论** 常用的缓冲包装材料在加工过程和使用过程均会造成资源浪费和环境污染。纸制缓冲包装材料加工工艺成熟价格稳定, 塑料缓冲包装受原材料价格波动影响较大。新型缓冲包装材料植物纤维类缓冲材料作为环境友好型材料, 符合缓冲包装材料力学性能要求, 推行使用可以减缓目前状况, 具有发展潜力和研究意义。

**关键词:** 缓冲包装; 经济性; 环境影响; 生命周期评价

中图分类号: TB484 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)09-0017-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.09.003

## Research Progress on Technology Economy and Environmental Impact Assessment of Buffer Packaging Materials

WU Tong-tong, WU Jin-zhuo, WANG Hui, CAI Jia-li

(College of Engineering and Technology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**ABSTRACT:** This paper aims to accurately grasp the economics and environmental impact of different types of buffer packaging materials by sorting out domestic and foreign literature, in order to provide references for the design and application of green and economic buffer packaging materials. Based on the classification of common buffer packaging materials, the economy and environmental impacts of paper buffer packaging materials and plastic buffer packaging materials are evaluated. It is concluded that common buffer packaging materials will cause waste of resources and environmental pollution during processing and use. The price of paper buffer packaging materials is stable due to mature processing technology, and that of plastic buffer packaging is greatly affected by the price of raw materials. As a new type of buffer packaging material, plant fiber-based buffer material is environmentally friendly and can meet the requirements for the mechanical properties of buffer packaging materials. Therefore, promoting the use of this type of material can improve the current situation and the material has development potential and research significance.

**KEY WORDS:** buffer packaging; economy; environmental impact; life cycle assessment

随着现代电子商务和移动互联网及信息技术的飞速发展, 物流业也呈现出高速发展的态势, 大量的

商品源源不断地从全国各地运送到客户手中。从我国快递配送服务行业的统计数据来看, 2019 年我国快

收稿日期: 2020-09-10

基金项目: 国家自然科学基金 (31400539)

作者简介: 吴彤彤 (1995—), 女, 东北林业大学硕士生, 主攻缓冲包装材料。

通信作者: 吴金卓 (1980—), 女, 博士, 东北林业大学教授, 主要研究方向为物流与供应链管理。

递配送业务数量与 2018 年相比增长较明显, 增长比例为 25.3%, 快递数量高达 635.2 亿件<sup>[1]</sup>。为了防止运输过程中的商品遭受损坏, 对其进行缓冲包装是十分必要的。缓冲包装也被称为防震包装, 是指为减缓包装内装物受到冲击和振动, 保护其免受损坏所采取的具有一定防护功能的包装<sup>[2-3]</sup>。缓冲包装材料的使用可以有效地起到保护商品的作用, 但是随着商品运送到客户手中, 大量的缓冲包装材料也随之被废弃, 对环境造成了极大的污染。文中在对现有缓冲包装材料分类的基础上, 分别从缓冲包装材料的技术经济性和环境影响研究进展 2 个方面进行综述, 并结合新型缓冲包装材料的研究现状进行研究展望, 旨在为绿色经济的缓冲包装材料在设计与应用方面提供参考和借鉴。

## 1 缓冲包装材料分类

缓冲包装材料来源广泛, 种类繁多。目前, 缓冲包装材料使用最广泛的是纸制缓冲包装材料和塑料缓冲包装材料 2 种。

### 1.1 纸制缓冲包装材料

纸制缓冲包装材料主要包括瓦楞纸板、蜂窝纸板和纸浆模塑。这种缓冲包装材料主要用于制作纸箱、托盘、包装衬垫等产品, 可以应用于家用电器、仪器仪表、农产品、医药器具、食品等领域<sup>[4-6]</sup>。在所有的纸制缓冲包装中, 瓦楞纸板的消耗量最大, 2019 年我国瓦楞纸板市场消耗量达到 814 亿 m<sup>2</sup>。瓦楞纸板生产过程是将主要原材料草纤维或废纸纤维在机械作用下进行打浆, 将打浆后的原材料干燥制作成原纸板, 原纸板与黄纸板类似。然后使用加工机器对原纸板进行压轧, 最后利用胶黏剂如硅酸钠材料等将原纸板与箱纸板粘合, 制成至少包含 1 层原纸板和 1 层箱纸板的缓冲包装材料<sup>[7-8]</sup>。蜂窝纸板是在瓦楞纸加工基础上, 用胶黏剂将瓦楞原纸进行粘粘成为具有无数个空心立体正六边形的整体受力件——纸芯。在纸芯两侧粘合面纸, 最终形成具有夹芯结构的新型环保节能材料<sup>[9]</sup>。纸浆模塑是利用真空、液压、空气压缩造型等手段将纸箱纸、废旧报纸或其他纸制品回收物纤维快速均匀地沉积到具有网状结构的模型上, 得到相应形状后进行压实干燥得到的产品。纸浆模塑可以长时间保持形状不发生改变, 具有良好的力学性能。现在也有一种全新的纸制缓冲包装——牛皮纸团缓冲包装, 是将一种长纤维、高韧度的牛皮纸通过专用的设备打成纸团, 对产品进行固定、包裹或填充, 从而起到对产品的缓冲保护作用。

### 1.2 塑料缓冲包装材料

塑料缓冲包装材料广泛应用于各种精密仪器仪

表、家用电器、玻璃制品、陶瓷制品、工艺品、贵重物品等, 可作为包装内衬材料制成缓冲衬垫、缓冲袋、缓冲板箱等包装容器<sup>[10]</sup>。塑料缓冲包装材料主要包括发泡塑料缓冲材料(泡沫塑料)和气垫缓冲材料。

发泡塑料缓冲材料使用最广泛的是可发性聚苯乙烯(EPS)、可发性聚乙烯(EPE)和发泡聚丙烯(EPP)等 3 种, 性能对比分析见表 1<sup>[11]</sup>。可发性聚苯乙烯(EPS)缓冲材料是由苯乙烯悬浮聚合, 再加入发泡剂而制得, 具有较好的防震缓冲性能、较高的耐压性能、良好的耐潮性能, 还具有抗油脂、易加工成型、价格低廉等优点。EPS 缓冲材料压缩后易产生塑料形变, 重复使用性能差, 容易破碎起尘<sup>[12-13]</sup>, 存在体积大, 废弃物不能自然风化, 不可降解和不易回收等缺点。另外, 在焚烧处理过程中还会产生有害气体, 因此大规模的使用会造成较大的环境压力<sup>[14-15]</sup>。可发性聚乙烯(EPE)俗称珍珠棉, 是闭孔式微孔热塑性材料, 具有高缓冲性、吸震抗震性能好、恢复性好等优点。多采用溶液发泡或模压发泡法来制备, 工艺复杂, 周期长。这种缓冲材料可以回收利用, 环保性能较好, 但其价格相对昂贵。发泡聚丙烯(EPP)材料一般由 EPP 颗粒在载压罐内载压, 利用压缩空气喷枪、EPP 成型机等加工机械让 EPP 颗粒在蒸汽的作用下, 膨胀变大、熔接成型。EPP 具有密度小、弹性好、具有良好的抗震抗压性能, 并且耐油、耐酸、耐碱、耐各种化学溶剂, 并且可以在 100% 的循环使用下性能不会降低, 是环境友好型塑料。该材料广泛应用于汽车领域, 在包装行业中是进出口产品不可缺少的包装材料。

表 1 常见发泡材料性能对比分析  
Tab.1 Performance comparisons for common foamed materials

指标	发泡聚乙烯	发泡聚苯乙烯	发泡聚丙烯
可回收性	可以	较难	可以
可降解性	不可	很难	较易
燃烧时毒性	无毒	有毒	无毒
生产过程污染性	无	有	无
气泡结构	独立	独立	独立
机械强度	强	强	最强
最高使用温度/°C	85	80	130
耐冲击性	较高	中等	最高
耐环境影响性	较高	较低	高
耐油耐温性	最佳	差	最佳
吸水性	小	小	最小
隔热性	较高	中等	高
耐化学腐蚀性	好	中等	好

气垫缓冲材料以多层聚乙烯薄膜和高强度耐磨尼龙布作为缓冲垫材料,利用封切工艺,填充气体等辅料制成,也叫“气泡袋”<sup>[16]</sup>。气垫缓冲材料主要有用量小、成本低、防震性能好、对环境温湿度具有良好的稳定性、可长期回收等诸多优点。市场上使用的气垫缓冲包装有快递填充型 FP 气垫(包装充气袋)、复合气泡袋、牛皮纸气泡袋和具有降解能力的环保型共挤膜复合气泡袋等<sup>[17]</sup>。气体包装气囊的气柱为单独式,与其他材料相比这种材料的每个气室都具有逆向止气功能,不会因为 1 个气柱被破坏导致整个缓冲件失去保护功能,对内装物可以起到全面性包覆保护,因此是市面上使用最广泛的气垫缓冲包装材料。

## 2 缓冲包装材料经济性分析

### 2.1 纸制缓冲包装材料成本分析

与其他缓冲包装材料相比,纸制缓冲包装的加工工艺成熟,无论是大型企业还是中小型工厂在购置设备后都可以进行规模化的生产加工,因此纸制缓冲包装材料的成本稳定,价格低廉,在市场上应用广泛。不同类型的纸制缓冲包装材料成本分析如下。

#### 2.1.1 瓦楞纸板

瓦楞纸板的生产成本因其结构组成不同而不同。按照层数划分,瓦楞纸板可以分为 3 层瓦楞纸板、5 层瓦楞纸板和 7 层瓦楞纸板。其中,3 层瓦楞纸板由 1 张瓦楞纸 2 面各粘 1 张面纸组成;5 层瓦楞纸板由面纸、里纸、1 张芯纸和 2 张瓦楞纸粘合而成;7 层瓦楞纸板由面纸、里纸、2 张芯纸和 3 张瓦楞纸粘合而成。每平方米瓦楞纸板的成本由纸的单价、定量、层数和压缩比系数来决定。瓦楞原纸在压瓦楞后引起纸张长度方向上的缩短,其缩短比值称为压缩比系数。一般瓦楞的楞型包括 A 楞、B 楞、C 楞和 E 楞<sup>[18]</sup>,压缩比系数分别为 1.59, 1.36, 1.50 和 1.27。将所有纸层的成本相加即可得到瓦楞纸板的原材料成本。除了考虑原材料成本,瓦楞纸板的出厂价还需要考虑其他摊费用,如各种生产辅助材料(粘合剂、油墨、扁丝、能源)、固定资产折旧、人员工资、税收等。一般瓦楞纸板的原料成本占出厂价的 65%。根据行业调查数据,3 层瓦楞纸板出厂价在 3.0~3.2 元/m<sup>2</sup>,5 层瓦楞纸板出厂价在 3.9~4.1 元/m<sup>2</sup>,7 层瓦楞纸板出厂价在 5.5 元/m<sup>2</sup>左右。

#### 2.1.2 蜂窝纸板

目前包装领域的蜂窝制品以蜂窝托盘、蜂窝纸箱、蜂窝纸板缓冲气垫为主<sup>[19]</sup>。蜂窝纸板成本核算方法以双面蜂窝纸板为例,成本等于 2 层面的单位成本、蜂窝纸芯单位成本与人工费用之和,随着蜂窝纸板层数的增多,成本也会增加。唐勇等<sup>[20]</sup>对蜂窝纸板的结构进行分析,从芯纸用量、胶量用量、纸板用量

等 3 个方面研究得到实际生产蜂窝纸板用料的计算公式,为之后计算成品价格提供了理论依据。韩炬等<sup>[21]</sup>设计了双芯蜂窝纸板,以解决蜂窝纸板抗压能力与成本增加之间的矛盾问题,最终得到 20 mm 厚的双芯纸板成本每平方米提高了 0.1 元,抗压效果明显优于普通蜂窝纸板。

#### 2.1.3 纸托

纸托又名纸浆模塑,可细分为工业纸托、农用纸托、食品用纸托和医用纸托。纸托的实际生产成本较低,主要受到生产工艺、尺寸质量和使用材料等多种因素影响。其成本组成包括废纸费、添加剂费、水电费、包装费、工人工资、营销费、管理费、工厂租金、设备折旧、税金等。一般纸托产品出厂价在 9000~10 000 元/t,外观要求、尺寸要求较高的产品则可达 14 000 元/t<sup>[22]</sup>。除了食品和少数高档产品的纸托外,绝大多数纸托的生产原料为废纸,每吨废纸的长期价格为 3500 元左右,从材料上控制生产成本的空间不大,因此要从工艺改革上来解决纸托包装成本上涨的问题。SP-98-4 型纸浆模塑蒸汽加工设备由福建泉州远东机械公司和广西大学造纸科学研究所共同研制,设备将传统的电加热系统改为蒸汽加热系统,经过试验该创新可以将能源消耗降低 60%,纸浆模塑餐具的单位生产成本控制在 0.14 元/只,每只直接降低 0.03 元<sup>[23]</sup>。

## 2.2 塑料缓冲包装材料成本分析

近年来,塑料包装材料凭借良好的化学性能和物理性能适应性而广泛应用,年均增长量超过了纸制包装材料等其他包装材料,塑料包装行业也成为仅次于纸制包装业的第二大包装子行业。不同类型的塑料缓冲包装材料成本分析如下。

### 2.2.1 可发性聚苯乙烯(EPS)缓冲包装材料

EPS 缓冲包装材料已经应用到各个领域,密度在 12~100 kg/m<sup>3</sup>,而用在包装领域的 EPS 缓冲包装材料的密度为 12~30 kg/m<sup>3</sup>。产品规格不同,生产成本也有所不同。石油裂解生成的苯乙烯是聚苯乙烯的主要原材料,占聚苯乙烯生产成本的 85%。由于 EPS 原材料价格不稳定,因此其价格经常有较大波动。据统计,2004 年到 2008 年 10 月期间,每桶原油的价格从 30 美元上升到 147 美元,又在同年 12 月急剧下降到 50 美元<sup>[24]</sup>,原油走势的大起大落,直接导致 EPS 和聚乙烯的价格不稳定。2017 年,由于上游产品苯乙烯价格的不断变化,我国 EPS 市场一度大起大落,年内最高价格达到 13 300 元/t,最低价格降到 9500 元/t。

### 2.2.2 可发性聚乙烯(EPE)缓冲包装材料

EPE 缓冲包装材料的价格要高于 EPS 缓冲包装材料。EPE 分为交联和无交联 2 种,交联泡沫塑料占

聚乙烯泡沫塑料市场的一半左右,并以每年25%的速度持续增长。目前,国内有十几家企业可以大规模批量生产交联发泡聚乙烯,但是生产工艺及主要设备基本上从国外引进,生产中使用的树脂、助剂也主要依赖于进口,占原料总成本的80%以上<sup>[25]</sup>。非交联发泡聚乙烯产品以PE发泡棉(又称EPE珍珠棉)为代表。EPE珍珠棉常用的有珍珠棉片材和珍珠棉型材。带有PO保护膜的珍珠棉膜最薄厚度为0.5,0.75,1,2 mm。珍珠棉型材规格包括20,25,28,30,32,35 g,其中最常使用的是20,25,28 g。EPE珍珠棉按照体积单位计算成本,不同产品之间的成本差异主要由单位单价决定。珍珠棉片材的单价为400元/m<sup>3</sup>左右,珍珠棉型材的单价为550元/m<sup>3</sup>左右,具体的单价随规格的不同有所区别。EPE包装产品的成本因粘合方式不同也有一定差异。张波涛等<sup>[26]</sup>使用嵌合、电烫板粘合和热熔胶粘合等3种粘合方式分析,核算了优化后的材料成本。假设1 m<sup>3</sup>的EPE材料价格为800元,粘合1 m<sup>3</sup>材料热熔胶粘合EPE的费用为6元/m<sup>2</sup>,用电烫板粘合的费用为4元/m<sup>2</sup>。

### 2.2.3 可发性聚丙烯缓冲包装材料

发泡聚丙烯(EPP)是多孔珠粒产品,是利用二氧化碳气体作为发泡剂进行物理发泡得到的<sup>[27]</sup>。近10年,我国聚丙烯消费量以年均17.59%的速度增长,远超世界增长水平,已成为目前增长最快的新型环保抗压缓冲隔热材料。EPP缓冲包装材料目前应用广泛,IT产品、电子设备通讯、液晶显示器、精密电子元器件都开始大量采用EPP作为包装材料。根据知名市场研究机构Market and Markets分析,对EPP需求量最高的地区依次分别是亚太、欧洲和北美,其中亚太地区占比超过35%,2019年全球EPP材料的使用市值超过12亿美元。预计在此趋势下2020年将达到16.488亿美元。由于发泡聚丙烯的生产工艺复杂,国内EPP制件的价格在12万元/t左右<sup>[28]</sup>,远高于EPE和EPS。日本旭化成塑料公司使用长玻璃纤维与聚丙烯材料进行复合,得到的新型材料不仅提高了抗冲击性能,同时也节省了20%的生产成本<sup>[29]</sup>。

## 3 缓冲包装材料的环境影响评价

根据全球性环保组织绿色和平(Green Peace)发布的数据显示,我国2018年各种快递包装的消耗量已经高达941.23万t,是2000年2.06万t的457倍。如果按照这样的发展趋势不采取有效的措施进行控制,则到2025年我国的快递包装材料消耗量将达到4127.05万t,会给全球带来巨大的资源负担和环境压力。快递缓冲包装带来的环境污染和资源消耗日渐严重,因此已经有大量的学者对包装产品带来的系列问题进行研究。环境影响评价指对处在计划中或者正在进行建设的项目在实施之后可能对环境所造成的影

响进行评价分析,并提出避免环境受到污染的对策。环境影响评价主要方法有生命周期评价法分析、生态足迹法分析和碳足迹分析等<sup>[30-33]</sup>。其中,生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)是一种能够客观定量分析的环境管理工具,从产品设计源头到最终处理的生命周期过程中,评价不同阶段的环境负荷与影响,进而改进工艺与产品设计,指导企业降低环境影响,实现经济与环境的可持续发展。国内外常用的生命周期评价方法有20多种,其中比较著名的有丹麦的EDIP2003、荷兰的CML2001和Eco-indicator99、瑞士的IMPACT2002+等。环境影响指标包括能源、全球变暖、人体毒性、光化学臭氧诱导、酸化、富营养化、资源枯竭、臭氧消耗和生态毒性等方面。下面对不同类型的缓冲包装材料的生命周期环境影响进行分析。

### 3.1 纸制缓冲包装材料的环境影响评价

造纸主要来源于植物纤维,一些经济发达国家在造纸过程中的木材用量甚至达到95%以上,这在一定程度上会造成资源的短缺,而且森林采伐过程也会对环境产生一定的影响<sup>[34]</sup>。纸制包装材料对于环境造成的污染主要集中在加工生产过程中。加拿大多伦多大学的研究人员使用EPS和纸作为原材料制作1 t性能相同的饮料杯,对全过程进行比较分析,结果表明,使用纸制品制作产生的环境污染和资源消耗是塑料制品的2.5倍,而主要污染产生于生产加工过程中<sup>[35]</sup>。另外,纸制包装材料废弃物燃烧时会排放出一氧化碳、二氧化氮等有害气体。废纸中含有油墨,里面可能含有的铅和其他有害物质可以随着烟雾排入空气之中,危害环境和人体健康<sup>[36]</sup>。纸制品中可能有严重的污染物(包括荧光增白剂、增塑剂、重金属诸如Pb、Cd以及Cr以及有机氯物质等)。在加工中会使用大量的漆、胶、消泡剂和含氯的漂白剂,含有类似邻苯二甲酸酯类、二噁英类物质,会产生致癌物质对人体造成伤害。

国内外学者均对纸制缓冲包装材料进行了环境影响评价。Bovea等<sup>[37]</sup>利用SimaPro生命周期评价软件对瓷砖纸板箱包装系统进行了生命周期评价,结果表明运输环节的能源消耗和胶黏剂的使用对环境影响较大,建议适当减小包装纸板的厚度,用点状施胶代替胶黏剂线。王璟瑶等<sup>[38]</sup>使用生命周期评价方法研究了O201型瓦楞纸箱在整个生命周期内(原料获取、生产、运输、使用、废弃处理)的环境载荷。研究发现,生产阶段的环境影响最大,约3.39,运输阶段次之,最终提出有效回收利用瓦楞纸箱会减少对环境造成的污染。Ongmongkolkul等<sup>[39]</sup>等采用生命周期评价法研究了由泰国的原浆和旧瓦楞纸箱制成的纸板箱在全生命周期内的能源使用和环境污染排放。研究发现,垃圾填埋是对环境影响最大的过程。目前,我

国对纸制包装的回收利用相对重视,通过循环再利用,可以减少对环境造成的污染和危害,因此,增加纸制包装的再利用无疑是环境保护的一项重要措施。

### 3.2 塑料缓冲包装材料的环境影响评价

塑料产品难以完全降解。以塑料袋为例,无论是在垃圾处理厂填埋或者是直接暴露在环境中,完全降解需要 200~500 年<sup>[40]</sup>。塑料废弃物多被丢弃到海洋和土壤中,会造成长期深层次的环境问题,如土壤被污染,农业产物大量减产;被抛弃到陆地上或海洋里,被动物当做食物吞食,导致了动物的死亡;混入其他生活垃圾中,因为塑料不容易降解,导致其他生活垃圾也很难被堆肥处理,造成白色污染。Aryan 等<sup>[41]</sup>利用 CML2000 环境影响评价方法对 2 种主要的塑料废弃物(PE、PET)在 4 种不同的处理模式下(填埋、焚烧、回收利用、焚烧结合能量回收)的环境影响进行对比,发现回收利用的环境影响最小,焚烧的环境影响最大。

近年来,对不同塑料缓冲包装材料的环境影响研究已经成为学者研究的热点问题。尹芬等<sup>[42]</sup>采用生命周期评价法研究了空气缓冲包装袋在全生命周期内(原材料获取、原材料运输、空气缓冲包装袋的生产、产品的运输及使用、包装产品的运输、包装废弃处置)的能耗和环境污染排放情况。研究发现,原材料获取阶段为能耗最大的阶段,约占生命周期能耗的 89.2%;运输阶段对环境的影响最大,约占生命周期环境影响的 43%。陈士明等<sup>[43]</sup>使用生命周期评价方法对纸制包装和塑料包装材料的环境污染情况进行了对比。结果表明,纸制品加工过程对环境污染高于塑料制品,但是由于塑料制品的回收利用率过低,整个生命周期过程中塑料包装对环境的影响高于纸制包装。史晓娟等<sup>[44]</sup>选用发泡聚乙烯(EPE)、瓦楞纸板和纸浆模塑作为手提电脑的缓冲包装材料,在保证缓冲作用的前提下,分别计算了使用上述 3 种缓冲包装材料设计的缓冲包装所产生的碳足迹。结果表明,EPE 在生产过程中产生的碳足迹低于瓦楞纸板和纸浆模塑,但对环境的影响较大。结合环境与成本的双重因素下,纸浆模塑是更为理想的包装材料。姜峰等<sup>[40]</sup>对纸浆模塑和发泡塑料废弃物的处理方式(焚烧、填埋、再利用)产生的三废污染物进行了对比,发现纸浆模塑在 3 种处理方式中产生的三废污染物要低于发泡塑料。梁韵秋等<sup>[45]</sup>总结了瓦楞纸、发泡聚苯乙烯、聚乙烯的生命周期评价研究现状,指出发泡聚苯乙烯对土地、水质及景观影响极大,会形成白色污染,如进行简易的焚烧处理也会造成严重的空气污染,建议加强发泡聚苯乙烯的回收再利用及资源化,因此,发泡塑料的回收再生利用是非常重要的,应该作为之后的技术研究方向,对发泡塑料的生命周期环境影响评价也可为政府制定相关的回收政策提

供理论依据。

## 4 结语

目前我国大量使用的缓冲包装材料以纸质缓冲包装材料和塑料缓冲包装材料为主。根据国内外学者对这 2 类缓冲包装材料产生的环境影响可以发现,缓冲包装材料的大量使用会造成环境污染和资源浪费,在加工过程也需要消耗大量的能源。另外,纸制缓冲包装加工工艺成熟,价格相对稳定;塑料缓冲包装成本波动受原材料、原油、助剂等的影响较大。随着森林资源与石油资源的日益匮乏,纸和塑料原料的价格将会呈现上升趋势,进而直接影响缓冲包装成本。为了改善这一情况,亟需研究新型缓冲包装材料。我国是农业大国,在农业剩余资源方面具有天然优势,2019 年全国秸秆产量超 9 亿 t,综合利用率超过 82%,以肥料利用为主,饲料化、燃料化稳步推进。秸秆价格低廉、密度小、模量和拉伸强度大,具有生物降解和可再制造性。同时,现有研究也表明,植物纤维缓冲包装材料可以满足缓冲包装力学性能,对环境造成的影响相对其他缓冲包装材料要少,因此植物纤维类缓冲包装材料具有良好的发展前景和广阔的应用空间。目前该材料的研究还在初始阶段,多为实验室加工,无法进行大规模的投产使用。

植物纤维类缓冲包装材料在今后的研究中应该重视以下几方面。

1) 重点研究发泡技术,确保发泡方法不会对环境造成污染。目前在我国对植物纤维类缓冲包装材料的研究中主要使用化学发泡技术。添加化学助剂可能会造成环境污染,不能真正达到无污染,因此应该把研究重点放在物理发泡(例如水蒸气发泡)上。

2) 明确制备参数。目前对其研究多为实验室加工,材料配比等也均是按照实验室要求确定,与工业化大规模生产加工的数据相差很远,因此须在具体参数的确定上加大力度。

3) 提高材料的综合使用性能。在实验室加工进行性能测试,多为对材料本身性能的测试,无法考虑实际流通过程中存在的外界因素,因此测试结果可能与实际流通过程中相差甚远,性能结果缺乏系统性、全面性。

4) 积极研究与植物纤维类缓冲包装材料相关的政策标准以及法律法规,为其在市场上进行使用提供保证。

### 参考文献:

- [1] 商车. 2019 年中国快递成绩单出炉: 业务量 630 亿件 收入达 7450 亿元[J]. 商用汽车新闻, 2020(1): 25.  
SHANG Che. China Express Results Report Released

- in 2019: Business Volume 63 Billion and Revenue 745 Billion Yuan[J]. Commercial Vehicle News, 2020(1): 25.
- [2] 刘忠. 笔记本电脑缓冲包装材料的种类及性能[J]. 中国包装工业, 2015(11): 48.  
LIU Zhong. Types and Performance of Laptop Computer Buffer Packaging Materials[J]. China Packaging Industry, 2015(11): 48.
- [3] 杨子程, 程昊, 程京国. 苹果缓冲包装现状及发展趋势[J]. 轻工标准与质量, 2019(6): 105—106.  
YANG Zi-cheng, CHENG Hao, CHENG Jing-guo. Current Status and Development Trend of Apple Buffer Packaging[J]. Light Industry Standards and Quality, 2019(6): 105—106.
- [4] 向明, 智文广. 瓦楞纸板在运输包装中的新用途[J]. 中国包装工业, 1998(2): 14—15.  
XIANG Ming, ZHI Wen-guang. New Uses of Corrugated Cardboard in Transportation Packaging [J]. China Packaging Industry, 1998(2): 14—15.
- [5] 李光, 樊明. 一种新型蜂窝纸板包边工艺及其制品缓冲性能研究[J]. 包装学报, 2015, 7(3): 40—45.  
LI Guang, Fan Ming. A New Type of Honeycomb Paperboard Edging Process and Its Cushioning Properties[J]. Chinese Journal of Packaging, 2015, 7(3): 40—45.
- [6] 汪再文. 国内外纸浆模制发展现状分析[J]. 中国包装工业, 2006(6): 25—26.  
WANG Zai-wen. Analysis of the Current Status of the Development of Pulp Molding at Home and Abroad[J]. China Packaging Industry, 2006(6): 25—26.
- [7] 苏凤琴. 浅析瓦楞纸板和瓦楞纸箱的质量检验[J]. 中国新技术新产品, 2017(10): 24—25.  
SU Feng-qin. Analysis on the Quality Inspection of Corrugated Cardboard and Corrugated boxes [J]. China New Technology & Products, 2017(10): 24—25.
- [8] SINGH S, GAIKWAD K, LEE M, et al. Thermally Buffered Corrugated Packaging for Preserving the Freshness of Mushrooms[J]. Food Engineering, 2018, 216(1): 11—19.
- [9] 王晓敏, 杨瑞丰, 邢浩. 我国蜂窝纸板生产现状及应用前景展望[J]. 机电信息, 2004(5): 21—24.  
WANG Xiao-min, YANG Rui-feng, XING Hao. Production Status and Application Prospects of Honeycomb Paperboard in China[J]. Machine Telecommunications, 2004(5): 21—24.
- [10] 杨铭瑞, 余华, 徐少科, 等. 缓冲包装材料的开发应用[J]. 中国包装工业, 2009(12): 41—43.  
YANG Ming-rui, YU Hua, XU Shao-ke, et al. Development and Application of Cushioning Packaging Materials[J]. China Packaging Industry, 2009(12): 41—43.
- [11] 王素玉, 张美玲. 发泡用聚烯烃材料发展现状[J]. 石化技术, 2020, 27(10): 108—110.  
WANG Su-yu, ZHANG Mei-ling. Development Status of Polyolefin Materials for Foaming[J]. Petrochemical Technology, 2020, 27(10): 108—110.
- [12] 赵文兴, 韩琳. 食用菌发酵秸秆生产真菌基生物质包装缓冲材料现状及发展研究[J]. 农家参谋, 2019(23): 155.  
ZHAO Wen-xing, Han Lin. Status and Development of Fungal-Based Biomass Packaging Buffer Materials Produced by Edible Fungus Fermentation Straw[J]. Farm Staff, 2019(23): 155.
- [13] CASTIGIONI A, CASTELLANI L, CUDER G, et al. Relevant Materials Parameters in Cushioning for EPS Foams[J]. Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects, 2017, 534(1): 71—77.
- [14] 陈帅. 生物质缓冲包装材料淀粉改性机理及防水性能研究[D]. 济南: 山东大学, 2019: 41.  
CHEN Shuai. Study on Starch Modification Mechanism and Waterproof Performance of Biomass Cushioning Packaging Material[D]. Jinan: Shandong University, 2019: 41.
- [15] GOMES R, SILVESTRE J D, BRITO D J. Environmental Life Cycle Assessment of the Manufacture of EPS Granulates, Lightweight Concrete with EPS and High-Density EPS Boards[J]. Journal of Building Engineering, 2020(28): 101031.
- [16] 孔真. 缓冲包装材料在农产品储存及运输中的运用研究[J]. 新疆农业科技, 2018(1): 15—16.  
KONG Zhen. Research on the Application of Buffer Packaging Materials in the Storage and Transportation of Agricultural Products[J]. Xinjiang Agricultural Science and Technology, 2018(1): 15—16.
- [17] 张佳宁, 刘芳. 快递包装低碳化的设计思考[J]. 包装工程, 2014, 35(4): 82—85.  
ZHANG Jia-ning, LIU Fang. Design Thinking on Low Carbonization of Express Packaging[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(4): 82—85.
- [18] 王冬梅, 柏子游, 龚户祥, 等. 瓦楞夹层结构动态力学性能评估[J]. 振动与冲击, 2014, 33(3): 94—97.  
WANG Dong-mei, BAI Zi-you, GONG Hu-xiang, et al. Evaluation of Dynamic Mechanical Properties of Corrugated Sandwich Structures[J]. Vibration and Shock, 2014, 33(3): 94—97.
- [19] 李东. 蜂窝纸板及其在缓冲包装领域的应用[J]. 印刷技术, 2009(8): 26—28.  
LI Dong. Honeycomb Paperboard and Its Application in the Field of Cushioning Packaging[J]. Printing Technology, 2009(8): 26—28.
- [20] 唐勇, 刘一山. 蜂窝纸板结构分析与生产用料的计算[J]. 纸和造纸, 2013, 32(5): 64—66.  
TANG Yong, LIU Yi-shan. Analysis of Honeycomb Paperboard Structure and Calculation of Production

- Materials[J]. Paper and Paper Making, 2013, 32(5): 64—66.
- [21] 韩炬, 裴未迟, 崔晓波. 双芯蜂窝纸板的平压性能及加工工艺研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 2(S1): 450—452.  
HAN Ju, PEI Wei-chi, CUI Xiao-bo. Research on Flat-Press Performance and Processing Technology of Double-Core Honeycomb Paperboard[J]. Printing and Packaging Research in China, 2010, 2(S1): 450—452.
- [22] 智研咨询集团. 2015—2020年中国纸浆模塑行业运营态势及未来发展趋势报告[R]. 北京: 智研咨询有限公司, 2014.  
Zhiyan Consulting Co, Ltd. Report on Operational Situation and Future Development for Pulp Molding Industry in China during 2015—2020[R]. Beijing: Zhiyan Consulting Co, Ltd, 2014.
- [23] 杨崎峰, 宾飞, 宋海农, 等. 降低纸浆模塑餐具生产成本的途径[J]. 中华纸业, 2001(11): 31—33.  
YANG Qi-feng, BIN Fei, SONG Hai-nong, et al. Ways to Reduce the Production Cost of Pulp Molded Tableware[J]. China Paper, 2001(11): 31—33.
- [24] 赵培武. EPS制造企业经营管理策略的探讨[J]. 现代经济信息, 2012(22): 47.  
ZHAO Pei-wu. Discussion on the Operation and Management Strategy of EPS Manufacturing Enterprises[J]. Modern Economic Information, 2012(22): 47.
- [25] 田原, 余莹. 国产材料在高倍率聚乙烯发泡制品中的应用研究[J]. 湖北工业职业技术学院学报, 2015, 28(6): 99—102.  
TIAN Yuan, YU Ying. Application Research of Domestic Materials in High-Rate Polyethylene Foam Products[J]. Journal of Hubei Polytechnic Institute, 2015, 28(6): 99—102.
- [26] 张波涛, 叶梁玉, 刘朝阳, 等. EPE缓冲包装优化设计[J]. 包装工程, 2006(6): 211—212.  
ZHANG Bo-tao, YE Liang-yu, LIU Chao-yang, et al. Optimized Design of EPE Cushion Packaging[J]. Packaging Engineering, 2006(6): 211—212.
- [27] 刘有鹏, 吕明福, 郭鹏, 等. 釜式法制备聚丙烯发泡珠粒研究进展[J]. 合成树脂及塑料, 2012, 29(6): 44—48.  
LIU You-peng, LYU Ming-fu, GUO Peng, et al. Research Progress of Polypropylene Foam Beads Prepared by Kettle Method[J]. Synthetic Resin and Plastics, 2012, 29(6): 44—48.
- [28] 顶创科技集团. 聚丙烯发泡珠粒(EPP)的生产技术分析[EB/OL]. (2017-05-12)[2020-05-10]. <http://www.duanggroup.com/newsinfo/1114031.html>.  
Duang Group. Production Technology Analysis on Expanded Polypropylene (EPP)[EB/OL]. (2017-05-12)[2020-05-10]. <http://www.duanggroup.com/newsinfo/1114031.html>.
- [29] 魏晓娟. 旭化成推出的长玻纤增强聚丙烯拥有成本优势[J]. 现代塑料加工应用, 2013, 25(4): 17.  
WEI Xiao-juan. The Cost Advantage of Long Glass Fiber Reinforced Polypropylene Launched by Asahi Kasei[J]. Modern Plastics Processing and Application, 2013, 25(4): 17.
- [30] 王鑫婷, 方芳, 朱仁高, 等. 包装产品的全生命周期评价[J]. 绿色包装, 2019(8): 51—54.  
WANG Xin-ting, FANG Fang, ZHU Ren-gao, et al. Life Cycle Assessment of Packaging Products[J]. Green Packaging, 2019(8): 51—54.
- [31] 刘洪琦, 朱建君, 卞亮亮. 建筑施工过程环境影响生态足迹计算模型研究[J]. 建设科技, 2020(2): 70—75.  
LIU Hong-qi, ZHU Jian-jun, BIAN Liang-liang. Research on the Calculation Model of Environmental Impact Ecological Footprint during Construction Process[J]. Construction Science and Technology, 2020(2): 70—75.
- [32] 邓琪, 肖敏, 常春琴, 等. 基于楚雄师范学院快递生态足迹研究[J]. 环境与发展, 2018, 30(5): 189—191.  
DENG Qi, XIAO Min, CHANG Chun-qin, et al. Based on Chuxiong Normal University Express Ecological Footprint Research[J]. Environment and Development, 2018, 30(5): 189—191.
- [33] 邓超, 张庆英, 胡斌, 等. 快递包装碳足迹研究[J]. 物流工程与管理, 2014, 36(9): 162—164.  
DENG Chao, ZHANG Qing-ying, HU Bin, et al. Research on Express Packaging Carbon Footprint[J]. Logistics Engineering and Management, 2014, 36(9): 162—164.
- [34] 王燕. 浅析包装材料对环境的影响[J]. 科技风, 2018(23): 147.  
WANG Yan. Analysis of the Impact of Packaging Materials on the Environment[J]. Science and Technology, 2018(23): 147.
- [35] 刘英俊. 正确认识和使用一次性聚苯乙烯发泡餐具[J]. 中国包装工业, 2010(10): 8—12.  
LIU Ying-jun. Correctly Understand and Use Disposable Polystyrene Foam Tableware[J]. China Packaging Industry, 2010(10): 8—12.
- [36] 张钟灵. 金属包装的性能与绿色环保化设计[J]. 世界有色金属, 2017(22): 273—275.  
ZHANG Zhong-ling. Performance of Metal Packaging and Green Design[J]. World Nonferrous Metals, 2017(22): 273—275.
- [37] BOVEA M D, SERRANO J S, BRUSCAS G M. Application of Life Cycle Assessment to Improve the Environmental Performance of a Ceramic Tile Packaging System[J]. Packaging Technology and Science, 2006(19): 83—95.
- [38] 王璟瑶, 吴金卓, 龙占璐. 0201型瓦楞纸箱生命周期不同阶段的环境影响评价[J]. 包装工程, 2019, 40(5):

- 96—102.  
WANG Jing-yao, WU Jin-zhuo, LONG Zhan-lu. Environmental Impact Assessment of Different Stages of 0201 Corrugated Box Life Cycle[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(5): 96—102.
- [39] ONGMONGKOLKUL A, NIELSEN P H, NAZHAD M M. Life Cycle Assessment of Paperboard Packaging Produced in Thailand [EB/OL]. (2018-06-13) [2020-06-10]. <https://p2infohouse.org/ref/37/36487.pdf>.
- [40] 姜峰, 李青海, 李剑峰, 等. 基于 LCA 法的包装材料环境友好性的评价[J]. 山东大学学报 (工学版), 2006, 36(6): 10—13.  
JIANG Feng, LI Qing-hai, LI Jian-feng, et al. The Assessment of Environmentally Friendly Packaging Materials Based on the LCA Methodology[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2006, 36(6): 10—13.
- [41] ARYAN Y, YADAV P, RANJAN S, et al. Life Cycle Assessment of the existing and proposed plastic waste management options in India: A case study[J]. Journal of Cleaner Production, 2019(211): 1268—1283.
- [42] 尹芬, 马晓军. 空气缓冲包装袋的生命周期评价研究[J]. 上海包装, 2017(6): 67—70.  
YIN Fen, MA Xiao-jun. Research on Life Cycle Assessment of Air Buffer Packaging Bags[J]. Shanghai Packaging, 2017(6): 67—70.
- [43] 陈士明, 刘正乾. 塑料与纸包装材料的生命周期评价研究[J]. 南昌航空工业学院学报, 2000(3): 82—84.  
CHEN Shi-ming, LIU Zheng-qian. Research on Life Cycle Assessment of Plastic and Paper Packaging Materials[J]. Journal of Nanchang Institute of Aeronautical Technology, 2000(3): 82—84.
- [44] 史晓娟, 王文生, 王晓敏, 等. 基于碳足迹分析的手提电脑缓冲包装方案比较[J]. 包装工程, 2012, 33(19): 104—107.  
SHI Xiao-juan, WANG Wen-sheng, WANG Xiao-min, et al. Comparison of Laptop Computer Buffer Packaging Solutions Based on Carbon Footprint Analysis[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(19): 104—107.
- [45] 梁韵秋, 蔡静蕊. 常用缓冲包装材料的生命周期评价研究现状[J]. 中国包装工业, 2013(8): 4—6.  
LIANG Yun-qiu, CAI Jing-rui. Current Status of Research on Life Cycle Assessment of Commonly Used Cushioning Packaging Materials[J]. China Packaging Industry, 2013(8): 4—6.